

儿童颅脑创伤诊治中国专家共识

中华医学会神经外科学分会颅脑创伤专业组 中华医学会创伤学分会神经损伤专业组

通信作者:刘劲芳,中南大学湘雅医院神经外科 410008, Email:jinfang_liu@csu.edu.cn

DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20210811-00397

颅脑创伤(trumatic brain injury, TBI)特别是重型 TBI[格拉斯哥昏迷评分(GCS) ≤ 8 分],是引起儿童(<18 岁)致残和死亡的最常见原因之一^[1]。由于儿童神经系统的解剖、生理、病理生理等均与成人有所不同,其 TBI 的临床特点和治疗策略也有别于成人^[2]。目前我国大多数 TBI 相关的研究对象为成人,迄今仍无关于儿童 TBI 的指南和专家共识。为了更好地救治重型 TBI 患儿,提高我国儿童 TBI 的整体救治水平,规范儿童 TBI 的治疗,中华医学会神经外科分会颅脑创伤专业组和中华医学会创伤学分会神经损伤专业组专家根据已有的临床证据,总结临床经验,共同讨论并撰写了《儿童颅脑创伤诊治中国专家共识》(以下简称共识),以期提高儿童 TBI 的治愈率,降低死亡率和致残率。

一、流行病学和危险因素

(一)流行病学

儿童创伤(包括头部外伤在内)非常常见,其年发生率大约为 200/100 000^[3-4],但全球不同地区差异很大。导致儿童死亡的原因中,26.1% 为创伤,其中 90% 创伤致死的患儿直接或间接死于 TBI^[3-4]。

(二)危险因素

1. 受伤机制:2002—2011 年的研究数据表明,儿童 TBI 最主要的致伤原因是跌倒和坠落、交通事故和被击打^[5]。而后期的创伤数据库数据(2005 年 1 月至 2014 年 1 月)表明,交通事故伤是儿童头部外伤最主要的原因^[6]。

2. 年龄:在婴儿阶段,施加性损伤(虐婴综合征或摇婴综合征)是患儿创伤的最主要原因,已有的调查结果显示,施加性损伤在 0~2 岁的发生率为 5.9%^[5],值得注意的是,施加性损伤并不一定是有意而为^[7]。随着年龄的增长,施加性损伤的发生率下降,跌落的发生率也随年龄的增长而逐渐降低^[5]。因体育或娱乐活动导致的创伤成为青少年阶段的主要创伤因素^[8]。

二、儿童 TBI 的监测

(一)颅内压监测

颅内压监测是重型 TBI 后重症监护的基础措施,许多学者在进行针对 TBI 后颅内高压的治疗时,均通过颅内压监测制定治疗决策。重型 TBI 患儿往往会出现颅内高压^[9],而颅内高压又与不良预后以及较高的死亡率相关^[10]。临床研究表明,对重型 TBI 患儿进行颅内压监测,实施以颅内压目标导向的治疗策略可显著降低患儿的死亡率^[11]。一项历时 10 年、纳入 4 667 例 TBI 患儿的回顾性队列研究表明,颅内压监测率高且收治病例多的医院患儿预后更好^[12]。而 30 家儿科医院历时 5 年、纳入 3 084 例儿童 TBI 患者的数据库分析表明,进行颅内压监测患儿的生存率并未改善^[13]。一项为 3 级证据的临床研究结论参考了成人 TBI 指南的意见,即对于重型 TBI(GCS <9 分)、影像学证实为脑外伤的患儿进行颅内压监测,其生存率改善的获益有限^[14]。

(二)颅内压阈值与脑灌注压阈值监测

TBI 后脑组织挫伤、水肿和颅内出血等因素会引起颅内压升高^[15],当颅内压升至一定阈值时会引起神经损伤、脑疝和脑死亡。此前的大量研究表明,儿童 TBI 患者颅内压持续 >20 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa) 与预后不良和死亡率较高有关^[16]。儿童 TBI 患者颅内压 >20 mmHg 每增加 1 h,其不良预后的可能性增加 4.6%^[17]。颅内压 >20 mmHg 持续时间超过 5 min 则需要积极干预,以改善 TBI 患儿的临床结局。但是考虑到不同年龄段儿童(包括婴幼儿、学龄前儿童、学龄儿童、青少年)解剖结构和生理差异较大,脑血管自动调节能力也明显不同,有研究将不同年龄段的 TBI 患儿根据不同的颅内压阈值进行治疗,但并未获得有意义的临床结果^[18]。

脑灌注压(cerebral perfusion pressure, CPP)是指平均动脉压与颅内压的差值,在 TBI 的临床管理中,CPP 是一个决定脑血流量的非常重要的参数,因为

它在一定程度上间接地反映了脑组织营养物质和氧气的供应情况。早期的研究认为,更高的脑灌注可能改善患者的预后,后来发现过高的 CPP 会引起 TBI 患者急性呼吸窘迫综合征的增加,并导致死亡率上升。两项研究表明,TBI 患儿 CPP < 45 mmHg 与其不良预后相关^[17,19]。研究表明,至少应维持 TBI 患儿 CPP 在 40 mmHg 以上,为避免出现灌注不足,应维持 CPP 于 40 ~ 50 mmHg。同样,考虑到不同年龄段儿童的平均动脉压、脑血流和脑氧代谢率存在差异,婴幼儿的 CPP 可维持在推荐范围低值,而青少年的 CPP 则可能需要稍高于推荐范围^[20]。Allen 等^[21]的研究也发现,不同年龄段 TBI 患儿的 CPP 阈值有差异,0 ~ 5 岁患儿的最低 CPP 应维持在 40 mmHg 以上,而 6 ~ 17 岁患儿的最低 CPP 应维持在 50 mmHg 以上。近年来,学者们越来越重视脑血管的自动调节功能,认为在不同的脑血管自动调节功能状态下,CPP 目标值是变化的,即最优 CPP 概念,因此建议用压力反应指数来滴定最优 CPP^[22-23]。

(三)其他脑监测方法(脑组织氧分压监测、经颅多普勒、脑电图)

多模态脑监测可以提供更多关于脑血流和脑功能的信息。对于重型 TBI 患儿而言,颅内压监测之外的多模态脑监测技术主要包括脑组织氧分压(partial pressure of brain tissue oxygen, PbtO₂)监测、脑电图和经颅多普勒(transcranial Doppler, TCD)等,这些脑监测方法联合颅内压监测能为 TBI 患儿所需的进一步治疗提供更多信息^[24]。

虽然一些研究发现,PbtO₂ < 10 mmHg 会导致不良预后,过低的 PbtO₂ 往往与脑组织缺血、线粒体功能紊乱和脑代谢异常相关,但尚无足够的临床证据显示进行脑氧监测能够改善 TBI 患儿的预后^[25-26]。

TCD 是一种简单快捷的床旁检测脑血流流速的技术,能够通过无创的方式评估患者的颅内压和 CPP。在成人 TBI 中,TCD 可通过测量搏动指数和脑血流流速来评估患者是否存在颅高压和脑血管痉挛,但这些联系在儿童 TBI 中并不明显^[27-28]。TCD 也被用于评估 TBI 患儿的脑血管自动调节功能,当平均动脉压上升时脑血管收缩,而平均动脉压下降时脑血管舒张,自动调节指数 ≥ 0.4 时认为脑血管自动调节功能良好。研究发现,40% 的重型 TBI 患儿的脑血管自动调节功能受损,且与患儿的不良预后密切相关^[29]。

创伤后癫痫是 TBI 患儿的常见并发症,而非惊厥性发作具有隐匿性,不易被发现,将会导致神经功

能恶化和更差的预后,通过持续的脑电图监测能及时发现痫性放电,从而促使临床医生及时干预^[30]。TBI 患儿由于各种原因(如交感兴奋、肌肉颤动、肌强直等)引起的异常运动容易与癫痫发作混淆,通过脑电监测能准确地鉴别这些临床表现,并减少不必要的抗癫痫药物使用^[31]。应用巴比妥药物治疗顽固性颅高压时,脑电图也被用来监测重型 TBI 患儿处于何种状态(爆发抑制或电静息),从而指导控制巴比妥药物的剂量^[32]。脑电监测下无脑电反应性、无睡眠觉醒周期以及弥漫性慢波均提示 TBI 患儿的预后不良^[33-34]。

(四)神经影像

头部 CT 是目前 TBI 患儿最常用的影像学检查,能快速地发现颅内出血、脑挫伤和脑水肿。与成人 TBI 患者类似,鹿特丹 CT 评分能反映 TBI 患儿的严重程度,评分上升与死亡风险密切相关^[35],但正常的 CT 表现并不能排除颅内高压^[36]。如硬膜外血肿量 > 10 ml 或 GCS < 9 分,则不论有无显著的神经功能恶化,均需进行 CT 复查^[37]。亦有研究认为,TBI 患儿如无神经功能恶化或者颅内压升高的表现,常规复查 CT 并不被推荐,因为这一措施不能带来额外的临床获益^[38-39]。

MRI 主要是通过各种特殊的扫描序列来反映更多脑损伤的细节信息。弥散加权成像和表观弥散系数主要被用于检测脑水肿以及弥漫性轴索损伤,尤其是在受伤早期,能够检测出局部脑缺血,这对诊断因虐待而导致的 TBI 十分重要,此外,表观弥散系数数值也可用于预测 TBI 患儿的预后^[40-42]。其他磁共振序列中,磁敏感加权成像主要用来检测小的弥漫性出血灶,更多的出血灶也提示 TBI 患儿的预后更差^[43];弥散张量成像能够检测神经纤维束的损伤情况,并能反映患儿的认知和总体的预后情况^[44]。总之,MRI 多用于儿童 TBI 神经功能远期预后的评估。

三、儿童 TBI 颅高压的治疗

(一)手术治疗

儿童重型 TBI 手术治疗的目的是解除血肿、挫伤灶和凹陷骨折的占位效应,并维持颅内压 < 20 mmHg 和 CPP > 40 ~ 50 mmHg^[45]。

1. 颅骨骨折:儿童的颅骨骨折大部分为单一的线性骨折,并不需要手术治疗,但合并以下情况时可能需要手术治疗:脑脊液漏、颅内异物、伤口感染、存在需手术处理的颅内血肿、凹陷性骨折^[46]。凹陷性骨折手术治疗的主要指征包括:凹陷深度 > 1 cm、合

并较大的颅内血肿或脑挫伤、需清除感染伤口、硬膜撕裂、需解除因压迫静脉窦导致的颅高压、局灶性的神经功能损害、为了美化患儿外观需行复位手术^[47]。另外,儿童颅骨骨折有可能因脑组织经骨折缝疝出至皮下导致生长性骨折,可通过 MRI 检查证实是否有脑组织疝出,必要时需尽早手术治疗^[48]。

2. 硬膜外血肿:硬膜外血肿往往症状轻微,甚至无症状,患者仅表现为头皮血肿或颅骨骨折。CT 检查结果往往是进行血肿清除的重要依据,建议硬膜外血肿厚度 > 10 mm 则进行血肿清除手术^[49]。儿童硬膜外血肿的手术指征可适当放宽,对于伴有明显临床症状和神经功能障碍体征,或一旦出现任何神经系统损害及病情加重,均可开颅手术,及时的手术治疗能显著改善硬膜外血肿患儿的预后^[50]。

3. 硬膜下血肿:硬膜下血肿患儿的病情较严重,常合并脑挫伤或颅内血肿,临床表现以颅高压症状如昏迷和呕吐为主,常见病因是外伤和虐待,主要的手术方式包括凶门穿刺、钻孔引流和开颅减压^[51-52]。需要手术干预的危险因素主要包括:较低的 GCS、较高的损伤严重程度评分、更差的 CT 征象、影像学证实的脑实质损伤、中线移位 > 5 mm、受压或闭塞的基底池以及神经功能损害^[53]。对于硬膜下血肿患儿特别是伴发严重脑肿胀者,术中剪开硬脑膜易出现致死性的急性脑膨出,更应强调硬脑膜的多处、有序、小范围、渐进性阶梯减压,关闭硬膜时要扩大修补。

4. 颅内血肿和脑挫伤:儿童创伤性颅内血肿和脑挫伤常见于额叶和颞叶。体积较小、占位效应不明显的颅内血肿和脑挫伤可保守治疗。当出现血肿进行性增大、水肿加重等而导致占位效应明显时,患儿的颅内压升高,神经功能显著恶化,尤其是颅窝和后颅窝的病变进展迅速时可导致脑疝的发生,需手术干预降低颅内压,维持脑灌注,必要时行去骨瓣减压术^[46]。

5. 颅底异物穿通伤:儿童可因意外导致尖锐物体如筷子、钢筋和火钳等穿透颅底,形成颅底异物穿通伤,此类患儿的手术难度较大,通常需要 TBI 和脑血管病相关团队以及颌面外科、眼科等相关科室共同合作,彻底清除异物,保护并维持颅内重要血管和神经功能的完整。成功的手术以及合理的抗生素应用(预防感染)、颅高压的管理以及癫痫等并发症的防治,是取得良好预后的关键^[54-55]。

6. 新生儿 TBI:新生儿发生 TBI 的常见原因是产伤,损伤类型主要是凹陷性骨折、硬膜外血肿和硬

膜下血肿,由于临床表现无特异性,很难被及时发现,常见的临床表现为癫痫和肌张力减低,决定有无手术指征的因素主要包括血肿的厚度、中线移位程度以及合并凹陷性骨折和脑积水^[56]。新生儿创伤后颅内血肿往往无需开颅手术,可通过穿刺进行治疗^[57]。

7. 去骨瓣减压术:去骨瓣减压术是通过外科手术切除一部分颅骨达到降低颅内压的目的。其手术方式包括单侧或双侧减压、硬脑膜扩大缝合、颞肌下减压、大骨瓣或小骨瓣减压,手术方式的不同也对 TBI 患儿的预后产生影响^[58]。虽然一些研究发现,去骨瓣减压能降低 TBI 患儿的死亡率以及改善其预后,但由于研究质量较低,未能对研究数据进行有效的统计学对比,因此指南并未对这一部分内容进行推荐^[59-60]。其他一些研究显示,去骨瓣减压治疗能显著减轻颅内高压,因此建议对于神经功能明显恶化、脑疝形成以及常规降颅压治疗无效的 TBI 患儿进行去骨瓣减压治疗^[59,61]。对于重型 TBI 患儿的难治性颅高压,早期(< 24 h),甚至超早期(6 ~ 12 h)进行去骨瓣减压是安全而有效的,能够改善患儿的预后^[62]。去骨瓣减压术降低了重型 TBI 的死亡率,但目前需要关注的是手术时机的选择、最适宜的手术技术和协同的治疗方法,从而使患儿获得最佳的疗效^[63]。

8. 颅骨成形术:开放性 TBI 清创术后,以及闭合性 TBI 因颅内压增高行去骨瓣减压术后,往往存在不同范围的颅骨缺损。颅骨成形术是一种常规的恢复颅腔完整性的手术,其不仅能够恢复脑脊液动力学和颅脑外观,还能保护脑组织,有助于促进神经系统的康复并改善神经功能预后,尤其是在儿童群体中^[64]。关于儿童颅骨修补的临床研究证据十分有限,对于骨瓣去除及重建缺损颅骨的手术入路、修补材料类型以及颅骨成形手术的最佳时机,尚未形成统一的最佳方案^[65-66]。儿童创伤后颅骨缺损的修补手术并无年龄限制,但需关注术前全身状况,神经系统和局部伤口的情况必须稳定,修补材料可选用自体骨、骨诱导材料或合成材料,若采用自体骨进行修补,建议尽早行修补术^[64]。

(二)高渗性治疗

高渗盐水和甘露醇是高渗性药物,其主要机制均为通过升高血浆渗透压以形成血-脑脊液间的渗透压差,从而发挥降低颅内压的作用。

高渗盐水治疗儿童颅内高压的输注方案包括单次快速输注和连续性输注。前瞻性队列研究表明,

相比于甘露醇、芬太尼和戊巴比妥,单次快速输注高渗盐水对于降低颅内压更加有效,推荐使用 3% 高渗盐水,剂量为 10 ~ 20 min 内 2 ~ 5 ml/kg^[67]。3% 高渗盐水能显著地改善儿童 TBI 患者的局部脑组织氧含量和脑血流^[68],高浓度的高渗盐水(12%)较 3% 的高渗盐水能更好地改善液体平衡和肺水肿^[69]。使用高渗盐水治疗时,应避免血钠过高,血钠长时间(>72 h)高于 160 mEq/L 有导致深静脉血栓的风险,高于 170 mEq/L 有导致血小板减少的风险^[70]。

甘露醇常用来降低颅内压,但其在儿童颅内高压的研究较少。多项研究比较了快速输注等量 20% 甘露醇和 3% 高渗盐水的颅内压下降程度和患儿的生存率,显示差异并无统计学意义^[70]。

(三)镇静镇痛治疗

镇痛镇静是儿童 TBI 重要的治疗措施之一,但目前的临床证据级别仍然不高,其有效性和安全性评价不一致^[71]。对于需要气管插管和机械通气的患儿,使用镇痛剂和镇静剂能够增加其舒适性和耐受性,缓解患者-呼吸机不同步,这种不同步可能导致大脑血流量的突然上升而使颅内压升高^[72]。镇痛剂和镇静剂可降低颅内压,并改善脑血流^[67]。另一方面,镇痛剂或镇静剂可能引起动脉血压降低,从而导致脑缺血和血管扩张,并可引起颅内压的升高^[73]。因此,需要警惕镇痛剂和镇静剂所导致的脑灌注不足。

(四)脑脊液引流

脑脊液引流是神经外科临床最常用的治疗技术之一,主要包括脑室外引流(external ventricular drain, EVD)和腰大池引流(lumbar drain, LD)。EVD 不仅可用于测量 TBI 儿童的颅内压,而且可用于进行治疗性脑脊液引流^[74]。对于重型 TBI 患儿,若存在脑室内出血或脑积水,可考虑行脑脊液引流来控制颅内压增高。其中,EVD 应作为首选方法。研究表明,控制颅内压 ≤ 20 mmHg 可改善患儿的预后^[75]。Shapiro 和 Marmarou^[76]回顾性纳入 22 例 GCS ≤ 8 分的重型 TBI 患儿,所有患儿均接受 EVD 和脑脊液引流,发现应用 EVD 可有效降低患儿的颅内压。目前循证医学并无足够证据支持 LD 可改善患儿的预后,且其禁忌证较多,禁用于脑疝和严重的颅内高压^[20]。

(五)控制性低温治疗

亚低温治疗分为预防性亚低温和治疗性亚低温。预防性亚低温在 TBI 早期颅内压未升高前施行,而治疗性亚低温则是在颅内压升高后实施,后者

是一种降低顽固性颅内高压的有效手段。两项荟萃分析显示,与常温治疗相比,预防性亚低温治疗并不能降低 TBI 患儿的死亡率,也未能改善其预后^[77-78]。在其他一些高质量研究中,也未能发现预防性亚低温能降低死亡率或可改善患儿的预后^[79-80]。治疗性亚低温对于儿童 TBI 而言是重要的治疗措施,尤其在降低颅内压方面,但目前的研究结果并不一致,其原因在于未基于 GCS 进行分层,体温测量方法、低温持续时间和复温时间的不一致^[81],患者的临床特征和头颅 CT 特征、是否存在瞳孔固定、低氧和蛛网膜下腔出血均是影响其预后的重要因素^[82]。研究发现,亚低温治疗的复温过程中,亚低温治疗组的颅内压会出现反跳,甚至高于常温治疗组,因此指南建议缓慢复温(0.5 ~ 1.0 °C / 12 ~ 24 h)以减少并发症的发生^[18,80,83]。

(六)机械通气

以往的研究认为,创伤后易出现脑血流量增加而导致颅内压升高,因此采取过度通气的策略使脑血管收缩以减低脑血流量,从而到达降低颅内压的目的^[84],但最近的研究发现,创伤后脑缺血比脑血流量增加更常见,并且脑缺血与不良预后密切相关^[85]。一项回顾性队列分析发现,早期(伤后 48 h)严重低二氧化碳血症($\text{PaCO}_2 < 30$ mmHg)的发生率较高,一旦发生可导致 TBI 患儿的死亡率明显增大^[86]。因此,过度通气在重型儿童 TBI 的治疗中仅被推荐为第二层次的治疗,且需要进行高级神经功能监测^[2]。

(七)巴比妥酸盐治疗

巴比妥酸盐治疗是儿童重症 TBI 中颅内压控制治疗二级疗法中的重要环节。研究发现,预防性使用巴比妥酸盐可以增加死亡率和致残率,所以并不建议采用,仅在发生正规一级治疗无效的、危及生命的难治性颅内压升高时,方建议使用,且使用时必须保证血流动力学的稳定^[87]。

(八)糖皮质激素治疗

多中心、双盲、安慰剂随机对照研究表明,糖皮质激素治疗不能改善重型 TBI 患儿的预后^[88]。根据现有重症 TBI 的随机对照研究和队列研究结果,糖皮质激素的使用不仅无法改善预后,反而可导致更高的死亡率、致残率和并发症(感染、糖尿病等)发生率。因此,目前不推荐常规使用糖皮质激素改善儿童重型 TBI 的预后或降低颅内压,但并不规避对于下丘脑-垂体轴损伤的患儿进行激素替代治疗^[2]。

四、儿童 TBI 并发症的处理

(一) 外伤性脑梗死

儿童外伤性脑梗死主要发生在伤后 1~2 周内, 由于儿童中枢神经系统的解剖、生理特征相对于成年人存在较大差异, 因此 TBI 后儿童脑梗死的发病率较成人更高, 临床表现也与成人外伤后脑梗死有较大差异^[89-90]。儿童外伤后脑梗死的主要原因包括: (1) 儿童的脑血管发育与成人相比尚不完全, 外伤时更易造成血管损伤; (2) 血容量少, 外伤后容易出现低血容量而导致灌注不足, 进而出现缺血、缺氧; (3) TBI 后各种有害的神经毒性物质释放导致血管痉挛等。外伤后脑梗死的临床表现往往被原发病所掩盖, 若出现与原发颅脑外伤无关的神经功能障碍如失语、偏瘫等临床表现, 应及时进行影像学检查, CT 为首选方法, MRI 有助于确诊。轻型外伤性脑梗死可予以钙离子拮抗剂、神经营养药物治疗和适当扩容治疗, 严重时可考虑去骨瓣减压以缓解颅高压, 解除脑疝。儿童脑组织及其神经功能尚处于发育期, 神经功能可得到代偿, 脑侧支循环易于迅速建立, 因此儿童外伤性脑梗死的预后一般好于成人。

(二) 创伤后癫痫

TBI 后癫痫发作是常见的并发症之一, 按发作时间主要分为两类: 早发型在受伤 7 d 内, 迟发型在受伤 7 d 后或康复期^[91]。TBI 患儿创伤后早期癫痫发作的主要危险因素包括: 受伤机制、GCS ≤ 8 分、硬膜下血肿以及年龄 < 2 岁等^[92]。但是, 儿童创伤后早期癫痫发作是导致创伤后癫痫的高危因素^[93]。相对于青少年, 婴幼儿和儿童的癫痫发作阈值更低, 因此增加了识别非惊厥性癫痫发作的难度, 通过持续脑电监测发现, TBI 患儿较成人有更高的癫痫发病率^[94-95]。预防性使用抗癫痫药物能够显著降低儿童 TBI 后早期癫痫的发病率^[92]。有研究表明, 左乙拉西坦能有效地预防儿童 TBI 后早期癫痫的发生^[91], 但对于儿童 TBI 后癫痫的预防, 何种抗癫痫药物最有效, 目前尚未达成统一意见^[96]。

(三) 创伤性脑积水

儿童 TBI 后的脑脊液动力学紊乱可能导致创伤性脑积水的发生, 其发生的危险因素主要包括年龄 (0~5 岁)、TBI 的类型 (蛛网膜下腔出血、硬膜下血肿)、开放性 TBI 以及电解质紊乱等^[97]。创伤性脑积水的手术治疗方法仍以脑室-腹腔分流术为主, 当存在腹腔感染或者其他不适合进行脑室-腹腔分流术的情况时, 可考虑行脑室-心房分流术, 对于有

危及生命表现 (如脑疝) 的患者以及情况不稳定而无法接受分流手术的患儿, 可能需要采取过渡措施, 通常放置临时脑室外引流管^[98]。分流手术的常见并发症主要包括感染、分流装置的机械故障以及过度引流, 这也是造成分流手术失败或者需要再次手术的主要原因^[99]。

五、儿童 TBI 诊治的专家推荐

(一) 强烈推荐

1. 高渗治疗: 对于颅内压增高的 TBI 患儿使用高渗盐水或甘露醇进行降颅压治疗。

2. 脑室外引流: 存在脑室内出血或脑积水的儿童 TBI 患者, 推荐采用。

3. 抗癫痫治疗: 对于重型 TBI 患儿的早期癫痫, 建议采用。

(二) 推荐

1. 颅内压监测: 对于重型 TBI (GCS < 9 分)、影像学证实为 TBI 的患儿进行颅内压监测。

2. 持续脑电图监测: 用于创伤后癫痫的诊断与疗效监测。

3. 颅内压与 CPP 阈值: 儿童颅内压增高治疗的阈值为 20 mmHg; 而推荐 CPP 最低的阈值为 40 mmHg, 可根据不同的年龄进行调整。

4. TCD: 用于评估儿童 TBI 患者的脑血流及脑血管自动调节功能。

5. 影像学检查: 对于存在神经功能恶化或颅内压增高症状的 TBI 患儿进行 CT 检查; 病情允许下对于弥漫性轴索损伤患儿进行 MRI 检查。

6. 镇痛镇静治疗: 用于重型 TBI 患儿, 尤其是需要进行机械通气的患儿。

7. 机械通气: 重型 TBI 患儿进行机械通气治疗时, 需要进行 PaCO₂ 和脑血流监测。

8. 控制性低温治疗: 在严格的重症管理下, 对于难治性颅内压增高的重型 TBI 患儿进行控制性低温治疗。

9. 手术治疗: (1) 对于具有手术指征的硬膜外血肿患儿积极行手术治疗; (2) 对于神经功能恶化、脑疝形成以及常规降颅压方法治疗无效的 TBI 患儿行去骨瓣减压术; (3) 儿童的颅骨成形术并无年龄限制; 修补材料可选用自体骨、骨诱导材料或者合成材料。

(三) 不推荐

1. LD: 不推荐对于脑池不清晰或严重颅内压增高的 TBI 患儿进行 LD。

2. 巴比妥酸盐治疗: 不推荐对于血流动力学不

稳定的 TBI 患儿进行巴比妥酸盐治疗,不推荐对于重型 TBI 患儿预防性使用巴比妥酸盐治疗。

3. 糖皮质激素:不推荐对于重型 TBI 患儿应用糖皮质激素治疗,但是不规避对于下丘脑-垂体轴损伤的患儿进行激素替代治疗。

六、说明

本共识是我国神经外科行业指导性文件,仅供神经外科及相关专业医生参考,不具备法律效力。随着儿童 TBI 诊治技术循证医学证据的不断增加,《共识》将随之进行修改与完善。

顾问 江基尧(上海交通大学医学院附属仁济医院)

共同执笔 鲍南(上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、陈若平(上海交通大学医学院附属新华医院)、张弩(温州医科大学附属第二医院)、陈鑫(中南大学湘雅医院)

共识专家组成员(按姓氏汉语拼音排序) 鲍南(上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、包义君(中国医科大学附属第四医院)、毕长龙(中南大学湘雅医院)、陈宝智(海南省人民医院)、陈礼刚(西南医科大学附属医院)、陈若平(上海交通大学医学院附属新华医院)、陈文劲(首都医科大学宣武医院)、陈鑫(中南大学湘雅医院)、邓磊(解放军第九〇八医院)、邓小鹿(中南大学湘雅医院)、董斌(大连医科大学附属第一医院)、冯光(河南省人民医院)、冯华(陆军军医大学西南医院)、冯军峰(上海交通大学医学院附属仁济医院)、费智敏(上海中医药大学附属曙光医院)、高亮(同济大学附属第十人民医院)、高国一(上海交通大学附属第一人民医院)、高峰(宁波大学附属人民医院)、杭春华(南京鼓楼医院)、侯立军(海军军医大学附属长征医院)、胡锦(复旦大学附属华山医院)、胡尚伟(南昌大学第二附属医院)、胡晓华(武警浙江省总队医院)、关俊文(四川大学华西医院)、黄齐兵(山东大学齐鲁医院)、黄贤键(深圳市第二人民医院)、黄学锋(南昌大学第一附属医院)、季晶(江苏省人民医院)、江基尧(上海交通大学医学院附属仁济医院)、江荣才(天津医科大学总医院)、兰松(中南大学湘雅医院)、李立宏(空军军医大学唐都医院)、李维平(深圳市第二人民医院)、李志强(上海市奉贤区中心医院)、刘伟明(首都医科大学附属北京天坛医院)、刘劲芳(中南大学湘雅医院)、刘亮(西南医科大学附属医院)、刘鹏(赣南医学院第一附属医院)、龙连圣(浙江湖州南太湖医院)、卢圣奎(河北

医科大学第二医院)、马越(青海省人民医院)、毛青(上海交通大学医学院附属仁济医院)、牛朝诗(中国科学技术大学附属第一医院)、钱锁开(解放军第九四医院)、迁荣军(河南省人民医院)、邱炳辉(南方医科大学南方医院)、石小峰(深圳市龙岗中心医院)、孙晓川(重庆医科大学附属第一医院)、孙昭胜(河北衡水市人民医院)、孙晓鸥(苏州大学第一附属医院)、田恒力(上海交通大学医学院附属第六人民医院)、童武松(上海君康医院)、魏俊吉(中国医学科学院北京协和医院)、王茂德(西安交通大学第一附属医院)、王鹏程(海南省人民医院)、王清华(南方医科大学珠江医院)、王新军(郑州大学第五附属医院)、王玉海(联勤保障部队第九〇四医院)、王霞(中南大学湘雅医院)、温良(浙江大学医学院附属第一医院)、汪永新(新疆医科大学第一附属医院)、许益民(汕头大学医学院第一附属医院)、徐英辉(大连医科大学附属第一医院)、徐蔚(昆明医科大学第二附属医院)、杨小锋(浙江大学医学院附属第一医院)、杨朝华(四川大学华西医院)、杨理坤(联勤保障部队第九〇四医院)、姚洁民(广西医科大学第三附属医院)、于如同(徐州医科大学附属医院)、张弩(温州医科大学附属第二医院)、张赛(北京朝阳中西医结合急诊抢救中心)、张永明(安徽省第二人民医院)、张焱(南昌大学第二附属医院)、张文川(上海交通大学医学院附属第九人民医院)、赵建华(上海市浦东新区公利医院)、赵杰(中南大学湘雅医院)、钟春龙(同济大学附属东方医院)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Jiang JY, Gao GY, Feng JF, et al. Traumatic brain injury in China[J]. Lancet Neurol, 2019, 18(3):286-295. DOI: 10.1016/S1474-4422(18)30469-1.
- [2] Kochanek PM, Tasker RC, Bell MJ, et al. Management of pediatric severe traumatic brain injury: 2019 consensus and guidelines-based algorithm for first and second tier therapies[J]. Pediatr Crit Care Med, 2019, 20(3):269-279. DOI: 10.1097/PCC.0000000000001737.
- [3] Langlois JA, Rutland-Brown W, Thomas KE. Traumatic brain injury in the United States; emergency department visits, hospitalizations, and deaths[M]. Atlanta, GA: Dept. of Health and Human Services (US), Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Injury Prevention and Control, 2006.
- [4] Murray CJL, Lopez AD, World Health O, et al. Global health statistics: a compendium of incidence, prevalence and mortality estimates for over 200 conditions [M/OL]. World Health Organization Harvard School of Public Health World Bank, 1996. <http://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:153336>.
- [5] Shao J, Zhu H, Yao H, et al. Characteristics and trends of

- pediatric traumatic brain injuries treated at a large pediatric medical center in China, 2002-2011 [J]. *PLoS One*, 2012, 7 (12): e51634. DOI: 10.1371/journal.pone.0051634.
- [6] 卢仁福, 邱俊, 孔令文, 等. 8003 例住院创伤患者流行病学分析 [J]. *创伤外科杂志*, 2020, 22 (6): 442-446. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4237.2020.06.009.
 - [7] Keenan HT, Runyan DK, Marshall SW, et al. A population-based study of inflicted traumatic brain injury in young children [J]. *JAMA*, 2003, 290 (5): 621-626. DOI: 10.1001/jama.290.5.621.
 - [8] 儿童意外死亡流行病学研究协作组 卢萍 刘筱娟. 中国妇幼卫生项目县儿童意外死亡流行病学研究 [J]. *中华儿科杂志*, 1995, 33 (4): 206.
 - [9] Cruz J, Nakayama P, Imamura JH, et al. Cerebral extraction of oxygen and intracranial hypertension in severe, acute, pediatric brain trauma: preliminary novel management strategies [J]. *Neurosurgery*, 2002, 50 (4): 774-779; discussion 779-780. DOI: 10.1097/00006123-200204000-00017.
 - [10] Wahlström MR, Olivecrona M, Koskinen LO, et al. Severe traumatic brain injury in pediatric patients: treatment and outcome using an intracranial pressure targeted therapy—the Lund concept [J]. *Intensive Care Med*, 2005, 31 (6): 832-839. DOI: 10.1007/s00134-005-2632-2.
 - [11] Tilford JM, Simpson PM, Yeh TS, et al. Variation in therapy and outcome for pediatric head trauma patients [J]. *Crit Care Med*, 2001, 29 (5): 1056-1061. DOI: 10.1097/00003246-200105000-00037.
 - [12] Bennett TD, Riva-Cambrin J, Keenan HT, et al. Variation in intracranial pressure monitoring and outcomes in pediatric traumatic brain injury [J]. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 2012, 166 (7): 641-647. DOI: 10.1001/archpediatrics.2012.322.
 - [13] Bennett TD, DeWitt PE, Greene TH, et al. Functional outcome after intracranial pressure monitoring for children with severe traumatic brain injury [J]. *JAMA Pediatr*, 2017, 171 (10): 965-971. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2017.2127.
 - [14] Alkhoury F, Kyriakides TC. Intracranial pressure monitoring in children with severe traumatic brain injury: national trauma data bank-based review of outcomes [J]. *JAMA Surg*, 2014, 149 (6): 544-548. DOI: 10.1001/jamasurg.2013.4329.
 - [15] Ghajar J. Traumatic brain injury [J]. *Lancet*, 2000, 356 (9233): 923-929. DOI: 10.1016/S0140-6736(00)02689-1.
 - [16] Pedersen SH, Lilja-Cyron A, Astrand R, et al. Monitoring and measurement of intracranial pressure in pediatric head trauma [J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 1376. DOI: 10.3389/fneur.2019.01376.
 - [17] Miller Ferguson N, Shein SL, Kochanek PM, et al. Intracranial hypertension and cerebral hypoperfusion in children with severe traumatic brain injury: thresholds and burden in accidental and abusive insults [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2016, 17 (5): 444-450. DOI: 10.1097/PCC.0000000000000709.
 - [18] Adelson PD, Ragheb J, Kanav P, et al. Phase II clinical trial of moderate hypothermia after severe traumatic brain injury in children [J]. *Neurosurgery*, 2005, 56 (4): 740-754; discussion 740-754. DOI: 10.1227/01.neu.0000156471.50726.26.
 - [19] Mehta A, Kochanek PM, Tyler-Kabara E, et al. Relationship of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure with outcome in young children after severe traumatic brain injury [J]. *Dev Neurosci*, 2010, 32 (5-6): 413-419. DOI: 10.1159/000316804.
 - [20] Kochanek PM, Tasker RC, Carney N, et al. Guidelines for the management of pediatric severe traumatic brain injury, third edition: update of the brain trauma foundation guidelines, executive summary [J]. *Neurosurgery*, 2019, 84 (6): 1169-1178. DOI: 10.1093/neuros/nyz051.
 - [21] Allen BB, Chiu YL, Gerber LM, et al. Age-specific cerebral perfusion pressure thresholds and survival in children and adolescents with severe traumatic brain injury* [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2014, 15 (1): 62-70. DOI: 10.1097/PCC.0b013e3182a556ea.
 - [22] Nagel C, Diedler J, Gerbig I, et al. State of cerebrovascular autoregulation correlates with outcome in severe infant/pediatric traumatic brain injury [J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2016, 122: 239-244. DOI: 10.1007/978-3-319-22533-3_48.
 - [23] Young AM, Donnelly J, Czosnyka M, et al. Continuous multimodality monitoring in children after traumatic brain injury—preliminary experience [J]. *PLoS One*, 2016, 11 (3): e0148817. DOI: 10.1371/journal.pone.0148817.
 - [24] Friess SH, Kilbaugh TJ, Huh JW. Advanced neuromonitoring and imaging in pediatric traumatic brain injury [J]. *Crit Care Res Pract*, 2012, 2012: 361310. DOI: 10.1155/2012/361310.
 - [25] Figaji AA, Zwane E, Graham Fieggen A, et al. The effect of increased inspired fraction of oxygen on brain tissue oxygen tension in children with severe traumatic brain injury [J]. *Neurocrit Care*, 2010, 12 (3): 430-437. DOI: 10.1007/s12028-010-9344-3.
 - [26] Narotam PK, Burjonrappa SC, Raynor SC, et al. Cerebral oxygenation in major pediatric trauma: its relevance to trauma severity and outcome [J]. *J Pediatr Surg*, 2006, 41 (3): 505-513. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2005.11.069.
 - [27] Figaji AA, Zwane E, Fieggen AG, et al. Transcranial doppler pulsatility index is not a reliable indicator of intracranial pressure in children with severe traumatic brain injury [J]. *Surg Neurol*, 2009, 72 (4): 389-394. DOI: 10.1016/j.surneu.2009.02.012.
 - [28] Splavski B, Radanovic B, Muzević D, et al. Assessment of intracranial pressure after severe traumatic brain injury by transcranial Doppler ultrasonography [J]. *Brain Inj*, 2006, 20 (12): 1265-1270. DOI: 10.1080/02699050601082099.
 - [29] Vavilala MS, Lee LA, Boddu K, et al. Cerebral autoregulation in pediatric traumatic brain injury [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2004, 5 (3): 257-263. DOI: 10.1097/01.pcc.0000123545.69133.c3.
 - [30] Gallentine WB. Utility of continuous EEG in children with acute traumatic brain injury [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2013, 30 (2): 126-133. DOI: 10.1097/WNP.0b013e3182872adf.
 - [31] Williams K, Jarrar R, Buchhalter J. Continuous video-EEG monitoring in pediatric intensive care units [J]. *Epilepsia*, 2011, 52 (6): 1130-1136. DOI: 10.1111/j.1528-1167.2011.03070.x.
 - [32] Hyllienmark L, Amark P. Continuous EEG monitoring in a paediatric intensive care unit [J]. *Eur J Paediatr Neurol*, 2007, 11 (2): 70-75. DOI: 10.1016/j.ejpn.2006.11.005.
 - [33] Vaewpanich J, Reuter-Rice K. Continuous electroencephalography in pediatric traumatic brain injury: seizure characteristics and outcomes [J]. *Epilepsy Behav*, 2016, 62: 225-230. DOI: 10.1016/j.yebeh.2016.07.012.
 - [34] Nadlonek NA, Acker SN, Bensard DD, et al. Early diffuse slowing on electroencephalogram in pediatric traumatic brain injury: impact on management and prognosis [J]. *J Pediatr Surg*, 2015, 50 (8): 1338-1340. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2015.03.060.
 - [35] Liesemer K, Riva-Cambrin J, Bennett KS, et al. Use of Rotterdam CT scores for mortality risk stratification in children with traumatic brain injury [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2014, 15 (6): 554-562. DOI: 10.1097/PCC.0000000000000150.
 - [36] Bailey BM, Liesemer K, Statler KD, et al. Monitoring and prediction of intracranial hypertension in pediatric traumatic brain injury: clinical factors and initial head computed tomography [J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 72 (1): 263-270. DOI: 10.1097/TA.0b013e31822a9512.
 - [37] Kim WH, Lim DJ, Kim SH, et al. Is Routine repeated head CT necessary for all pediatric traumatic brain injury? [J]. *J Korean*

- Neurosurg Soc, 2015, 58 (2): 125-130. DOI: 10.3340/jkns.2015.58.2.125.
- [38] Bata SC, Yung M. Role of routine repeat head imaging in paediatric traumatic brain injury [J]. ANZ J Surg, 2014, 84 (6): 438-441. DOI: 10.1111/ans.12582.
- [39] Figg RE, Stouffer CW, Vander Kolk WE, et al. Clinical efficacy of serial computed tomographic scanning in pediatric severe traumatic brain injury [J]. Pediatr Surg Int, 2006, 22 (3): 215-218. DOI: 10.1007/s00383-005-1560-0.
- [40] Suh DY, Davis PC, Hopkins KL, et al. Nonaccidental pediatric head injury: diffusion-weighted imaging findings [J]. Neurosurgery, 2001, 49 (2): 309-318; discussion 318-320. DOI: 10.1097/00006123-200108000-00011.
- [41] Galloway NR, Tong KA, Ashwal S, et al. Diffusion-weighted imaging improves outcome prediction in pediatric traumatic brain injury [J]. J Neurotrauma, 2008, 25 (10): 1153-1162. DOI: 10.1089/neu.2007.0494.
- [42] Huisman TA. Diffusion-weighted imaging: basic concepts and application in cerebral stroke and head trauma [J]. Eur Radiol, 2003, 13 (10): 2283-2297. DOI: 10.1007/s00330-003-1843-6.
- [43] Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, et al. Diffuse axonal injury in children: clinical correlation with hemorrhagic lesions [J]. Ann Neurol, 2004, 56 (1): 36-50. DOI: 10.1002/ana.20123.
- [44] Holshouser B, Pivonka-Jones J, Nichols JG, et al. Longitudinal metabolite changes after traumatic brain injury: a prospective pediatric magnetic resonance spectroscopic imaging study [J]. J Neurotrauma, 2019, 36 (8): 1352-1360. DOI: 10.1089/neu.2018.5919.
- [45] Coulter IC, Forsyth RJ. Paediatric traumatic brain injury [J]. Curr Opin Pediatr, 2019, 31 (6): 769-774. DOI: 10.1097/MOP.0000000000000820.
- [46] Araki T, Yokota H, Morita A. Pediatric traumatic brain injury: characteristic features, diagnosis, and management [J]. Neurol Med Chir (Tokyo), 2017, 57 (2): 82-93. DOI: 10.2176/nmc.ra.2016-0191.
- [47] Stein SC. The evolution of modern treatment for depressed skull fractures [J]. World Neurosurg, 2019, 121: 186-192. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.10.045.
- [48] Yang CH, Li Q, Li GP, et al. Internal open brain injury or cranial burst fracture: report of 8 cases [J]. Pediatr Neurosurg, 2009, 45 (5): 402-406. DOI: 10.1159/000260912.
- [49] Cremonini C, Lewis M, Wong MD, et al. Traumatic epidural hematomas in the pediatric population: clinical characteristics and diagnostic pitfalls [J]. J Pediatr Surg, 2020, 55 (9): 1773-1778. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2020.05.011.
- [50] Faheem M, Jaiswal M, Ojha BK, et al. Traumatic pediatric extradural hematoma: an institutional study of 228 patients in tertiary care center [J]. Pediatr Neurosurg, 2019, 54 (4): 237-244. DOI: 10.1159/000501043.
- [51] Tehli O, Kazanci B, Türkoglu E, et al. Subdural hematomas and emergency management in infancy and childhood: a single institution's experience [J]. Pediatr Emerg Care, 2011, 27 (9): 834-836. DOI: 10.1097/PEC.0b013e31822c136a.
- [52] Karibe H, Kameyama M, Hayashi T, et al. Acute subdural hematoma in infants with abusive head trauma: a literature review [J]. Neurol Med Chir (Tokyo), 2016, 56 (5): 264-273. DOI: 10.2176/nmc.ra.2015-0308.
- [53] Binder H, Tiefenboeck TM, Majdan M, et al. Management and outcome of traumatic subdural hematoma in 47 infants and children from a single center [J]. Wien Klin Wochenschr, 2020, 132 (17-18): 499-505. DOI: 10.1007/s00508-020-01648-3.
- [54] Mzimhiri JM, Li J, Bajawi MA, et al. Orbitocranial low-velocity penetrating injury: a personal experience, case series, review of the literature, and proposed management plan [J]. World Neurosurg, 2016, 87: 26-34. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.12.063.
- [55] Wu Y, Chen T, Yuan M, et al. Orbitocranial penetrating injury with multiple vessel invasion in an infant: a case report and literature review [J]. Front Neurol, 2020, 11: 591431. DOI: 10.3389/fneur.2020.591431.
- [56] Heyman R, Heckly A, Magagi J, et al. Intracranial epidural hematoma in newborn infants: clinical study of 15 cases [J]. Neurosurgery, 2005, 57 (5): 924-929; discussion 924-929. DOI: 10.1227/01.neu.0000180026.73246.bf.
- [57] Vinchon M, Pierrat V, Tchofo PJ, et al. Traumatic intracranial hemorrhage in newborns [J]. Childs Nerv Syst, 2005, 21 (12): 1042-1048. DOI: 10.1007/s00381-004-1131-z.
- [58] Barthélemy EJ, Melis M, Gordon E, et al. Decompressive craniectomy for severe traumatic brain injury: a systematic review [J]. World Neurosurg, 2016, 88: 411-420. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.12.044.
- [59] Taylor A, Butt W, Rosenfeld J, et al. A randomized trial of very early decompressive craniectomy in children with traumatic brain injury and sustained intracranial hypertension [J]. Childs Nerv Syst, 2001, 17 (3): 154-162. DOI: 10.1007/s003810000410.
- [60] Josan VA, Sgouros S. Early decompressive craniectomy may be effective in the treatment of refractory intracranial hypertension after traumatic brain injury [J]. Childs Nerv Syst, 2006, 22 (10): 1268-1274. DOI: 10.1007/s00381-006-0064-0.
- [61] Figaji AA, Fieggan AG, Peter JC. Early decompressive craniotomy in children with severe traumatic brain injury [J]. Childs Nerv Syst, 2003, 19 (9): 666-673. DOI: 10.1007/s00381-003-0804-3.
- [62] Elsawaf Y, Anetsberger S, Luzzi S, et al. Early decompressive craniectomy as management for severe traumatic brain injury in the pediatric population: a comprehensive literature review [J]. World Neurosurg, 2020, 138: 9-18. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.02.065.
- [63] Sahuquillo J, Dennis JA. Decompressive craniectomy for the treatment of high intracranial pressure in closed traumatic brain injury [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2019, 12: CD003983. DOI: 10.1002/14651858.CD003983.pub3.
- [64] Iaccarino C, Kolias A, Adelson PD, et al. Consensus statement from the international consensus meeting on post-traumatic cranioplasty [J]. Acta Neurochir (Wien), 2021, 163 (2): 423-440. DOI: 10.1007/s00701-020-04663-5.
- [65] Beez T, Munoz-Bendix C, Ahmadi SA, et al. From decompressive craniectomy to cranioplasty and beyond—a pediatric neurosurgery perspective [J]. Childs Nerv Syst, 2019, 35 (9): 1517-1524. DOI: 10.1007/s00381-019-04303-z.
- [66] Fu KJ, Barr RM, Kerr ML, et al. An outcomes comparison between autologous and alloplastic cranioplasty in the pediatric population [J]. J Craniofac Surg, 2016, 27 (3): 593-597. DOI: 10.1097/SCS.0000000000002491.
- [67] Shein SL, Ferguson NM, Kochanek PM, et al. Effectiveness of pharmacological therapies for intracranial hypertension in children with severe traumatic brain injury—results from an automated data collection system time-synched to drug administration [J]. Pediatr Crit Care Med, 2016, 17 (3): 236-245. DOI: 10.1097/PCC.0000000000000610.
- [68] Washer L, Abramo T, Hardgrave H, et al. Assessing the impact of 3% hypertonic saline hyperosmolar therapy on intubated children with isolated traumatic brain injury by cerebral oximetry in a pediatric emergency setting [J]. Pediatr Emerg Care, 2020. DOI: 10.1097/PEC.0000000000001959.
- [69] Sabers EJ, Reiter PD, Skillman HE, et al. Concentrated hypertonic saline in severe pediatric traumatic brain injury [J]. Brain Inj, 2020, 34 (6): 828-833. DOI: 10.1080/02699052.2020.1752938.
- [70] Kumar SA, Devi BI, Reddy M, et al. Comparison of equiosmolar

- dose of hyperosmolar agents in reducing intracranial pressure—a randomized control study in pediatric traumatic brain injury [J]. *Childs Nerv Syst*, 2019, 35 (6): 999-1005. DOI: 10.1007/s00381-019-04121-3.
- [71] Ketharanathan N, Yamamoto Y, Rohlwick U, et al. Analgesedation in paediatric severe traumatic brain injury (TBI): practice, pitfalls and possibilities [J]. *Childs Nerv Syst*, 2017, 33(10): 1703-1710. DOI: 10.1007/s00381-017-3520-0.
- [72] Kerr ME, Weber BB, Sereika SM, et al. Effect of endotracheal suctioning on cerebral oxygenation in traumatic brain-injured patients [J]. *Crit Care Med*, 1999, 27(12): 2776-2781. DOI: 10.1097/00003246-199912000-00028.
- [73] Felmet K, Nguyen T, Clark RS, et al. The FDA warning against prolonged sedation with propofol in children remains warranted [J]. *Pediatrics*, 2003, 112(4): 1002-1003; author reply 1002-1003. DOI: 10.1542/peds.112.4.1002.
- [74] Andrade AF, Paiva WS, Amorim RL, et al. Continuous ventricular cerebrospinal fluid drainage with intracranial pressure monitoring for management of posttraumatic diffuse brain swelling [J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2011, 69(1): 79-84. DOI: 10.1590/s0004-282x2011000100016.
- [75] Chau C, Craven CL, Rubiano AM, et al. The evolution of the role of external ventricular drainage in traumatic brain injury [J]. *J Clin Med*, 2019, 8(9): 1422. DOI: 10.3390/jcm8091422.
- [76] Shapiro K, Marmarou A. Clinical applications of the pressure-volume index in treatment of pediatric head injuries [J]. *J Neurosurg*, 1982, 56(6): 819-825. DOI: 10.3171/jns.1982.56.6.0819.
- [77] Crompton EM, Lubomirova I, Cotlarciuc I, et al. Meta-analysis of therapeutic hypothermia for traumatic brain injury in adult and pediatric patients [J]. *Crit Care Med*, 2017, 45(4): 575-583. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002205.
- [78] Tasker RC, Vonberg FW, Ulano ED, et al. Updating evidence for using hypothermia in pediatric severe traumatic brain injury: conventional and Bayesian meta-analytic perspectives [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2017, 18(4): 355-362. DOI: 10.1097/PCC.0000000000001098.
- [79] Adelson PD, Wisniewski SR, Beca J, et al. Comparison of hypothermia and normothermia after severe traumatic brain injury in children (Cool Kids): a phase 3, randomised controlled trial [J]. *Lancet Neurol*, 2013, 12(6): 546-553. DOI: 10.1016/S1474-4422(13)70077-2.
- [80] Hutchison JS, Ward RE, Lacroix J, et al. Hypothermia therapy after traumatic brain injury in children [J]. *N Engl J Med*, 2008, 358(23): 2447-2456. DOI: 10.1056/NEJMoa0706930.
- [81] Thabet F, Tabarki B. Therapeutic hypothermia in children: which indications remain in 2018? [J]. *Arch Pediatr*, 2019, 26(5): 308-311. DOI: 10.1016/j.arcped.2019.05.010.
- [82] Rosario BL, Horvat CM, Wisniewski SR, et al. Presenting characteristics associated with outcome in children with severe traumatic brain injury: a secondary analysis from a randomized, controlled trial of therapeutic hypothermia [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2018, 19(10): 957-964. DOI: 10.1097/PCC.0000000000001676.
- [83] Beca J, McSharry B, Erickson S, et al. Hypothermia for traumatic brain injury in children—a phase II randomized controlled trial [J]. *Crit Care Med*, 2015, 43(7): 1458-1466. DOI: 10.1097/CCM.0000000000000947.
- [84] Bruce DA, Alavi A, Bilaniuk L, et al. Diffuse cerebral swelling following head injuries in children: the syndrome of "malignant brain edema" [J]. *J Neurosurg*, 1981, 54(2): 170-178. DOI: 10.3171/jns.1981.54.2.0170.
- [85] Adelson PD, Srinivas R, Chang Y, et al. Cerebrovascular response in children following severe traumatic brain injury [J]. *Childs Nerv Syst*, 2011, 27(9): 1465-1476. DOI: 10.1007/s00381-011-1476-z.
- [86] Curry R, Hollingworth W, Ellenbogen RG, et al. Incidence of hypo- and hypercarbia in severe traumatic brain injury before and after 2003 pediatric guidelines [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2008, 9(2): 141-146. DOI: 10.1097/PCC.0B013e318166870e.
- [87] Mellion SA, Bennett KS, Ellsworth GL, et al. High-dose barbiturates for refractory intracranial hypertension in children with severe traumatic brain injury [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2013, 14(3): 239-247. DOI: 10.1097/PCC.0b013e318271c3b2.
- [88] Asehnoune K, Seguin P, Allary J, et al. Hydrocortisone and fludrocortisone for prevention of hospital-acquired pneumonia in patients with severe traumatic brain injury (Corti-TC): a double-blind, multicentre phase 3, randomised placebo-controlled trial [J]. *Lancet Respir Med*, 2014, 2(9): 706-716. DOI: 10.1016/S2213-2600(14)70144-4.
- [89] Tian HL, Geng Z, Cui YH, et al. Risk factors for posttraumatic cerebral infarction in patients with moderate or severe head trauma [J]. *Neurosurg Rev*, 2008, 31(4): 431-436; discussion 436-437. DOI: 10.1007/s10143-008-0153-5.
- [90] 张桂玲, 张怀强, 王洪生, 等. 儿童外伤性脑梗死的诊断与治疗 [J]. *中华神经创伤外科电子杂志*, 2020, 6(4): 229-232. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-9141.2020.04.008.
- [91] Pearl PL, McCarter R, McGavin CL, et al. Results of phase II levetiracetam trial following acute head injury in children at risk for posttraumatic epilepsy [J]. *Epilepsia*, 2013, 54(9): e135-137. DOI: 10.1111/epi.12326.
- [92] Liesemer K, Bratton SL, Zebrock CM, et al. Early post-traumatic seizures in moderate to severe pediatric traumatic brain injury: rates, risk factors, and clinical features [J]. *J Neurotrauma*, 2011, 28(5): 755-762. DOI: 10.1089/neu.2010.1518.
- [93] Mikkonen ED, Skrifvars MB, Reinikainen M, et al. Posttraumatic epilepsy in intensive care unit-treated pediatric traumatic brain injury patients [J]. *Epilepsia*, 2020, 61(4): 693-701. DOI: 10.1111/epi.16483.
- [94] Herman ST, Abend NS, Bleck TP, et al. Consensus statement on continuous EEG in critically ill adults and children, part I: indications [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2015, 32(2): 87-95. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000166.
- [95] Holmes GL. Effects of seizures on brain development: lessons from the laboratory [J]. *Pediatr Neurol*, 2005, 33(1): 1-11. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2004.12.003.
- [96] Ostahowski PJ, Kannan N, Wainwright MS, et al. Variation in seizure prophylaxis in severe pediatric traumatic brain injury [J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2016, 18(4): 499-506. DOI: 10.3171/2016.4.PEDS1698.
- [97] Rumalla K, Letchuman V, Smith KA, et al. Hydrocephalus in pediatric traumatic brain injury: national incidence, risk factors, and outcomes in 124,444 hospitalized patients [J]. *Pediatr Neurol*, 2018, 80: 70-76. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2017.11.015.
- [98] Rymarczuk GN, Keating RF, Coughlin DJ, et al. A comparison of ventriculoperitoneal and ventriculoatrial shunts in a population of 544 consecutive pediatric patients [J]. *Neurosurgery*, 2020, 87(1): 80-85. DOI: 10.1093/neuros/nyz387.
- [99] Kahle KT, Kulkarni AV, Limbrick DD Jr, et al. Hydrocephalus in children [J]. *Lancet*, 2016, 387(10020): 788-799. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60694-8.

(收稿: 2021-08-11)

(本文编辑: 孙丽娜)